

燃料デブリからの光子放出に関する崩壊データライブラリの検証

Validation of decay data library for photon emission from fuel debris

*松村 太伊知¹, 奥村 啓介¹, 藤田 学²

¹ 日本原子力研究開発機構, ²JPC

燃料デブリから放出される光子の線スペクトルとその経時変化を計算で評価し、日本、米国、欧州の最新崩壊データライブラリの違いによる差異を調査した。有意な差異が見られたエネルギー領域においては、主な原因の核種を同定し、関連する核種の崩壊チェーン、崩壊分岐比、半減期、光子放出率の違いを分析し、崩壊データライブラリ間の差異の要因を明らかにした。

キーワード：福島第一原子力発電所・燃料デブリ・崩壊データ・光子スペクトル

1. 緒言

福島第一原子力発電所（1F）の廃炉に向けた研究開発では、新たなセンサーの開発や非破壊測定技術の開発、放射線遮蔽の最適化などの目的で核データを利用しており、燃料デブリの放射線特性を適切に評価できる信頼性の高い核データが必要とされている。従来は、計算コードによって異なる結果が得られたとしても、その原因を明らかにすることが困難であった。そこで、約1,600核種から成る同一の燃料デブリ組成をスタートとして、異なる崩壊データライブラリを用いた崩壊計算と光子線源計算を、それぞれのデータと同一のコードに基づいて計算し、これらを比較することで、各ライブラリの妥当性と問題点の洗い出しを行った。崩壊データライブラリには、日本のJENDL/DDF-2015[1]、米国および欧州のENDF/B-VIII.0[2]とJEFF-3.3[3]のそれぞれの崩壊サブライブラリを用いた。

2. 計算方法

燃料デブリの組成は、2号機の燃料の燃焼計算と微量不純物を含めた燃料集合体構造材の放射化計算で得られた核種組成を重量比で混合させた炉心平均組成[4]を使用した。これをベースとして、事故直後、10年後、40年後、10,000年後までの放射性核種の崩壊による核種インベントリ(重量)を、各ライブラリの複雑な崩壊モードを遷移行列としてほぼそのまま扱うことができるチェビシエフ有理関数近似法(CRAM)[5]により計算した。更に、得られた放射性核種の崩壊により発生する光子の線スペクトルを各ライブラリの光子放出率に基づき評価した。これにより、数万本の線スペクトルが得られるが、差異の比較が困難であるため、ORIGEN コード[6]等で良く使用されている18群構造にエネルギースペクトルを変換し、ライブラリ間の差異を観察した。有意な差異が見られたエネルギー領域においては、元の線スペクトルに立ち返って、主な原因となっている放射性核種を同定した。さらに、同定された核種については、関連する核種の崩壊チェーン、崩壊分岐比、半減期、光子放出率の違いを分析し、崩壊ライブラリ間の差異の要因を明らかにした。

3. 結果

光子スペクトルの違いは事故後の経過年数によって異なる。表1に、JENDL/DDF-2015の結果を他の崩壊データライブラリによる結果と比較した場合の差異要因となっている核種とその原因について整理した。10年後では10

～100 keVで光子強度が小さくなっているが、これは^{137m}BaのX線と²⁴¹Amの59.5 keVのγ線が未定義のためである。40年後ではさらに2～2.5 MeVの範囲で強度が小さくなっているが、これは⁹⁰Yの約2.2 MeVのγ線が未定義のためである。10,000年後では、概ね一致しているが、詳細には²¹⁴Biの2.5～4 MeVの光子放出割合がENDF/B比とJEFF比で約0.64倍小さく評価されていた。発表では経年毎のより詳細な主たる差異の要因の核種について報告する。

表1 経過年数毎の主たる差異の要因の核種

経過年数	10	40	10,000
核種 (要因)	^{137m} Ba	⁹⁰ Y	²¹⁴ Bi
	X線未定義	γ線未定義	2.5～4 MeV 少
	²⁴¹ Am 59.5 keV γ線未定義	²⁰⁸ Tl (JEFF)	²³⁹ Pu, ²⁴⁰ Pu (JEFF)
	¹⁰⁰ Rh >3.04 MeV γ線未定義	>2.6 MeV γ線未定義	10～50 keV 少

参考文献

[1] J. Katakura, et al., "JENDL Decay Data File 2015", (2016). [2] D.A. Brown, et al., "ENDF/B-VIII.0: the 8th major release of the nuclear reaction data library with CIELO-project cross sections, new standards and thermal scattering data". (2018). [3] OECD/NEA Data Bank, JEFF-3.3, (2017). [4] K. Okumura, et al., "Nuclear Data for Severe Accident Analysis and Decommissioning of Nuclear Power Plant", (2013). [5] M. Pusa, et al., "Computing the Matrix Exponential in Burnup Calculations", (2010). [6] I. C. Gauld, et al., "Origen-S: Scale system module to calculate fuel depletion, Actinide transmutation, fission product buildup and decay, and associated radiation source terms", (2009).

*T. Matsumura¹, K. Okumura¹, M. Fujita²

¹Japan Atomic Energy Agency (JAEA), ²Japan Prime Computing Corporation (JPC)